**Manuel d'Utilisation**
**Fascicule U1.0- : Introduction à *Code_Aster***
**Document : U1.05.01**

# Un exemple d'utilisation du C*ode_Aster* : calcul d'un tuyau coudé

**Résumé :**

Ce document décrit un exemple simple d'utilisation de *Code_Aster* qui est fourni avec la procédure de téléchargement de *Code_Aster* depuis le site `code-aster.org`.

# 1 Données du problème

## 1.1 Géométrie

L'étude concerne une tuyauterie comprenant deux tuyaux droits et un coude [Figure 1.1-a].

Les données géométriques du problème sont les suivantes :

- la longueur $L_G$ des deux tuyaux droits est de $3\,m$ ,
- le rayon $R_c$ du coude est de $0.6\,m$ ,
- l'angle $\theta$ du coude est de $90°$ ,
- l'épaisseur des tuyaux droits et du coude est de $0.02\,m$ ,
- et le rayon extérieur $R_e$ des tuyaux droits et du coude est de $0.2\,m$ .

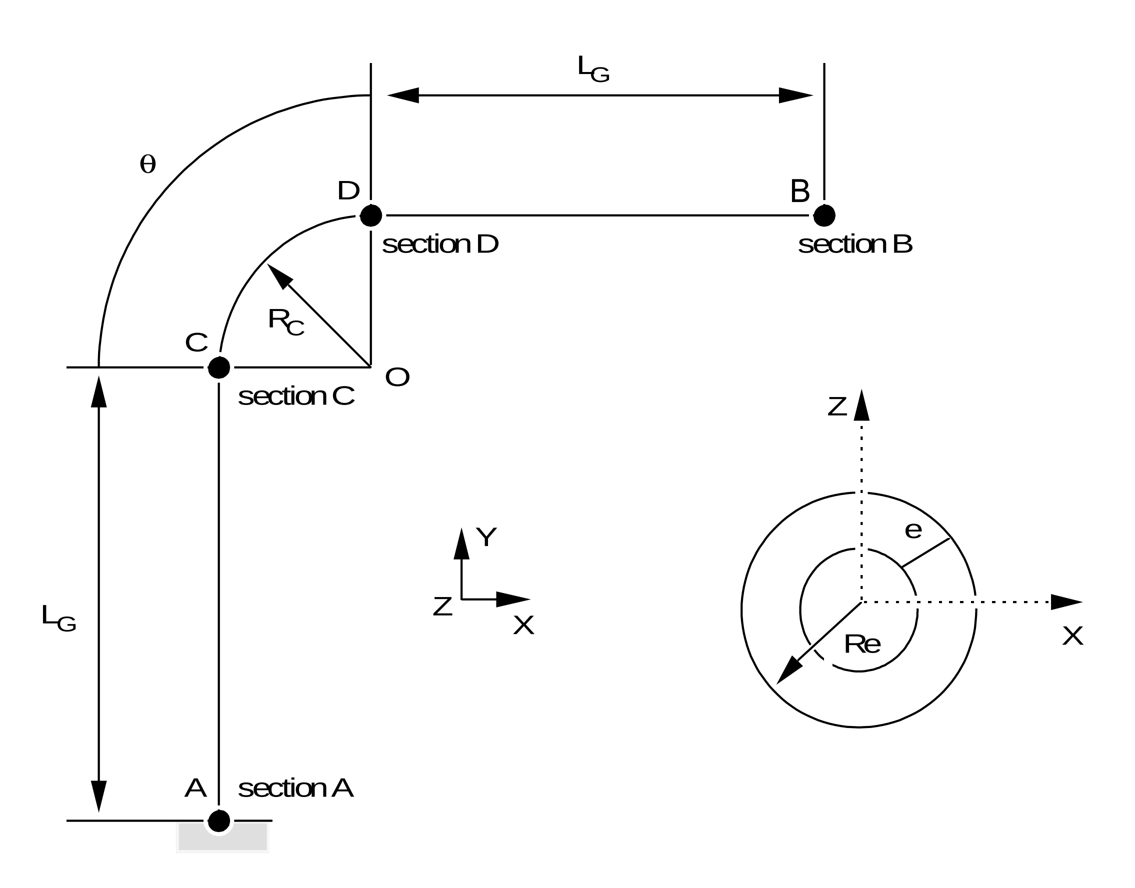



**Figure 1.1-a**

**Remarque :**

*La géométrie du problème présente une symétrie par rapport au plan* $(A, X, Y)$ .

## 1.2 Chargement

Les conditions aux limites sont les suivantes :

- il y a encastrement au niveau de la section $A$ ,

Le chargement appliqué est une force constante $FY=100\,000\,N$ dirigée selon l'axe $Y$ et appliquée sur la section $B$ ,

## 1.3 Caractéristiques matériau

Les propriétés du matériau sont celles de l'acier $A42$ :

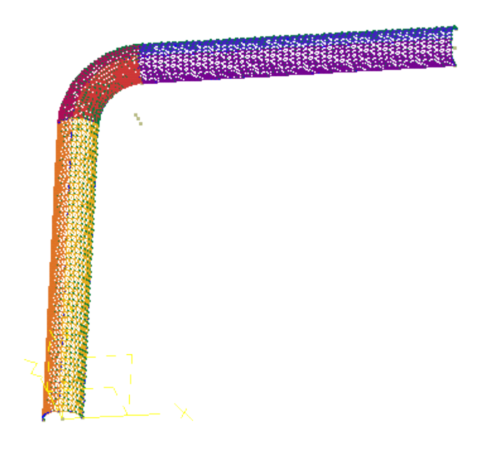
- le module d'Young $E=204\,000.E+6\,N/m^2$ ,
- le coefficient de Poisson $\nu=0.3$ .

# 2 Modélisation du problème

On peut modéliser le problème par des éléments de coque DKT .

## 2.1 Maillage GMSH

Dans le cas de la modélisation en éléments coques, le maillage consiste en la discrétisation de la surface moyenne de la tuyauterie. La géométrie étant symétrique par rapport au plan $(A, X, Y)$ , on ne maillera qu'une demi surface. Le maillage devra être suffisamment fin pour obtenir une solution précise (les éléments DKT à 3 nœuds ayant une interpolation d'ordre 1 en membrane).



Nous proposons le fichier `geo` de GMSH produisant ce maillage :

```
//////////////////////////////////////////////////////////////
// Maillage du tuyau coudé pour gmsh 1.60
//////////////////////////////////////////////////////////////
// Variables
Rext = 0.2 ;
Ep = 0.02 ;
Rm = Rext - (Ep/2.) ;
RC = 0.6     ;
LG = 3.0    ;

h = 0.04;

Point(1) = {RC, LG, 0., h};
Point(2) = {RC, LG, 0.1, h};
Point(3) = {(-1*Rm), 0, 0, h};
Point(4) = {0, 0, Rm, h};
Point(5) = {Rm, 0, 0, h};
Point(6) = {0, 0, 0, h};


Circle(1) = {3,6,4};
Circle(2) = {4,6,5};

// 1er tuyau droit
Extrude Line {2, {0,LG,0}}
             {Layers{50,90,1};  };
Extrude Line {1, {0,LG,0}}
             {Layers{50,91,1};  };

// Coude
Extrude Line {3, {0,0,1}, {RC,LG,0.}, -(Pi/2)}
             {Layers{30,93,1};  };
Extrude Line {7, {0.,0.,1.}, {RC,LG,0.}, -(Pi/2)}
             {Layers{30,94,1};  };

// 2eme tuyau droit
Extrude Line {11, {LG,0,0}}
             {Layers{50,95,1}; Recombine; };
Extrude Line {15, {LG,0,0}}
             {Layers{50,96,1}; Recombine; };

Coherence;

Physical Line(27) = {2,1};
Physical Line(28) = {23,19};
Physical Line(29) = {24,16,8,5,13,21};
Physical Surface(30) = {90,91,93,94,95,96};
Physical Point(31) = {3};
```

## 2.2 Commandes Aster

Les tuyaux droits et le coude seront modélisés par des éléments de coque (DKT).

La tuyauterie est encastrée en sa base, sur tous les nœuds situés dans le plan $Y=0$ . La tuyauterie présente un plan de symétrie $Z=0$ .

- Un effort réparti $F^*$ dirigée selon l'axe $Y$ et appliquée à la section $B$ , (l'effort réparti est tel que $2\pi R_{moy} F^* =$ la force totale que l'on désire appliquer).

  *On calculera le champ de contraintes par élément aux nœuds ( SIGM_ELNO ), pour chaque cas de charge. Utiliser* NIVE_COUCHE *pour définir le niveau de calcul dans l'épaisseur*

Les principales étapes du calcul avec *Aster* sont :

- Maillage.
- Définition des éléments finis utilisés (AFFE_MODELE).
  On utilisera les groupes de mailles issus du maillage.
- Définition et affectation du matériau (DEFI_MATERIAU et AFFE_MATERIAU).
  Les caractéristiques mécaniques sont identiques sur toute la structure.
- Affectation des caractéristiques des éléments coques (AFFE_CARA_ELEM) avec notamment l'épaisseur et le vecteur $V$ définissant le repère de dépouillement (mot-clé ANGL_REP). On peut prendre par exemple $V=Oz$ .
- Définition des conditions aux limites et des chargements (AFFE_CHAR_MECA).
- Résolution du problème élastique pour chaque cas de charge (MECA_STATIQUE).
  Calcul du champ de contraintes par éléments aux nœuds pour chaque cas de charge (option 'SIGM_ELNO').
- Impression des résultats (IMPR_RESU).
  On imprimera sous forme listing le déplacement moyen sur la section B ainsi que les valeurs maximales du tenseur de contraintes.

## 2.3 Les commandes à la loupe

Nous allons maintenant détailler les commandes nécessaires à la réalisation du calcul envisagé.

| Fichier de Commandes | Explications |
|---|---|
| `# TITRE TUYAUTERIE COMPORTANT UN COUDE`<br>`#   MODELISATION PAR DES ELEMENTS COQUES DKT`<br>`#            PRODUIT PAR GMSH` | Les commentaires sont précédés du signe #, |
| **`DEBUT ( ) ;`** | Commande obligatoire pour commencer... |
| **`PRE_GMSH() ;`** | Le maillage est au format GMSH |
| **`MAIL = LIRE_MAILLAGE  ( ) ;`** | Lecture du maillage dans le fichier de maillage, et création du concept `MAIL` contenant le maillage au format Aster |
| `# Définition des éléments finis utilisés` | Un modèle est un concept contenant les types d'éléments finis utiles au calcul |
| **`MODMECA=AFFE_MODELE(MAILLAGE=MAIL,`** | Associe les mailles du maillage des groupes `GM30` et `GM28` |
| **`AFFE=_F(GROUP_MA=('GM30','GM28',),`**<br>**`PHENOMENE='MECANIQUE',`**<br>**`MODELISATION='DKT',),);`** | à des éléments finis mécaniques de type coque `DKT` |
| `# Orientation des normales aux coques rentrantes dans le GM30` | |
| **`MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,`** | Modifier le maillage `MAIL` |
| **`MAILLAGE=MAIL,`** | |
| **`ORIE_NORM_COQUE=_F(`** | en orientant les normales |
| **`GROUP_MA='GM30',`** | du groupe `GM30` |
| **`VECT_NORM=(1.0,0.0,0.0,),`** | suivant la normale (1,0,0) |
| **`GROUP_NO='GM31',),`** | définie sur le nœud `GM31` |
| **`MODELE=MODMECA,);`** | Sur le modèle `MODMECA` |
| `# Définition du matériau` | |
| **`ACIER=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=204000000000.0,`** | Les caractéristiques de chaque matériau constituant le maillage sont fournies |
| **`NU=0.3,),);`** | module d'Young et coefficient de Poisson |
| **`CHMAT=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,`** | Sur le maillage `MAIL` |
| **`AFFE=_F(TOUT='OUI',`** | et sur toutes les mailles |
| **`MATER=ACIER,),);`** | on affecte le matériau `ACIER` |
| `# Caractéristiques des coques` | |
| **`CARA_COQ=AFFE_CARA_ELEM(`** | On change les caractéristiques élémentaires |
| **`MODELE=MODMECA,`** | Sur le modèle `MODMECA` |
| **`COQUE=_F(`** | des coques |
| **`GROUP_MA=('GM30','GM28',),`** | définies dans les groupes `GM30` et `GM28` |
| **`EPAIS=0.02,`** | par une épaisseur de coque de 0.2 |
| **`ANGL_REP=(0.0,90.0,),),);`** | avec un repère local (utile dans le post-traitement) |
| `# Définition des conditions aux limites` | |

```
BLOCAGE=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODMECA,
                       DDL_IMPO=(
                  _F(GROUP_MA='GM27',
                     DX=0.0,
                     DY=0.0,
                     DZ=0.0,
                     DRX=0.0,
                     DRY=0.0,
                     DRZ=0.0,),
                  _F(GROUP_MA='GM29',
                     DZ=0.0,
                     DRX=0.0,
                     DRY=0.0,),),);
```

Pour le modèle MODMECA
Les nœuds du groupe de mailles GM27 sont encastrés
et les nœuds du groupe de mailles GM29 sont tels que $DZ=0$, $DRX=0$ et $DRY=0$

```
# Définition du chargement
FYTOT = 100000.0;
EPTUB = 0.02;
REXT = 0.2;
```

Définition de la constante force totale
Définition de la constante épaisseur du tube
Définition de la constante rayon extérieur du tube

```
RMOY=REXT - EPTUB/2
```

Calcul du rayon moyen du tube

```
FYREP=FYTOT/2./PI/RMOY
```

Calcul de la force totale à appliquer

```
CHARG1=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODMECA,
         FORCE_ARETE=_F(GROUP_MA='GM28',
         FY=FYREP,),);
```

Affectation sur le modèle MODMECA
D'une force sur l'arête GM28
de valeur FYREP

```
# Résolution

RESU1=MECA_STATIQUE(
          MODELE=MODMECA
          CHAM_MATER=CHMAT,
          CARA_ELEM=CARA_COQ,

          EXCIT=(_F(CHARGE=BLOCAGE,),
                 _F(CHARGE=CHARG1,),),);
```

Commande globale de résolution des problèmes statiques en thermo élasticité linéaire
RESU1 est le nom du concept résultat
Le modèle MODMECA
Le champ de matériau CHMAT
Les caractéristiques élémentaires (coques) CARA_COQ
Les conditions limites BLOCAGE
Le chargement CHARG1

```
# Calcul des contraintes
RESU1=CALC_ELEM(reuse =RESU1,

                OPTION='SIGM_ELNO',
                RESULTAT=RESU1,);
```

reuse=RESU1 signifie que l'on « enrichit » le concept
sur le modèle MODMECA
avec le champ de matériau CHMAT
et les caractéristiques élémentaires CARA_COQ
on calcule 'SIGM_ELNO' signifiant « contraintes calculées aux nœuds de chaque élément à partir des déplacements »

```
# Impression des résultats pour visualisation avec GMSH

DEFI_FICHIER( ACTION='ASSOCIER',
              UNITE=37,)
```

Définition de l'unité logique pour le fichier GMSH

```
IMPR_RESU(MODELE=MODMECA,
          FORMAT='GMSH', UNITE=37,
          RESU=_F(RESULTAT=RESU1,
```

On imprime des résultats
provenant du modèle MODMECA
les résultats sont

| | |
|---|---|
| `NOM_CHAM=('DEPL', 'SIGM_ELNO',),) )` | au format GMSH<br>et sont les déplacements<br>imprimés dans l'unité logique associé au fichier 'POST'<br>et proviennent de RESU1<br>au format GMSH<br>et sont les contraintes aux nœuds<br>imprimés dans l'unité logique associé au fichier 'POST'<br>et proviennent de RESU1 |
| `DEFI_FICHIER(ACTION='LIBERER', UNITE=37)` | Fermeture de l'unité logique |
| `# Créer un groupe` | |
| `MAIL=DEFI_GROUP(` | Un nouveau groupe |
| `reuse =MAIL,` | reuse=MAIL signifie que l'on « enrichit » le concept maillage |
| `MAILLAGE=MAIL,` | A partir du maillage MAIL |
| `CREA_GROUP_NO=_F(` | on crée un group de nœuds |
| `GROUP_MA='GM28',),);` | provenant des mailles GM28 |
| `# Créer une table` | |
| `TABDEP1=POST_RELEVE_T(ACTION=_F(` | On crée une table TABDEP1 en post-traitement |
| `INTITULE='DEPB1',` | dont le nom est 'DEPB1' |
| `GROUP_NO='GM28',` | qui s'appuie sur le groupe GM28 |
| `RESULTAT=RESU1,` | et sur les résultats RESU1 |
| `NOM_CHAM='DEPL',` | on veut les déplacements |
| `TOUT_CMP='OUI',` | pour toutes les composantes |
| `OPERATION='MOYENNE',),);` | et la moyenne |
| `# Imprimer une table` | |
| `IMPR_TABLE(TABLE=TABDEP1,` | on imprime la table TABDEP1 |
| `FILTRE=_F(NOM_PARA='QUANTITE',` | on veut la quantité |
| `CRIT_COMP='EQ',` | qui vaut exactement |
| `VALE_K='MOMENT_0',),` | le moment d'ordre 0 |
| `NOM_PARA='DY',);` | sur le déplacement suivant y |
| | ... |
| `FIN();` | Commande obligatoire pour clore une exécution |

# 3 Visualisation à l'aide de GMSH

Avec la version 7.4 de *Code_Aster*, l'impression directe des résultats au format GMSH est possible. On imprimera sur le fichier SIGM de numéro d'unité logique 37 les contraintes (composantes $SIYY$ seulement) pour le post-traitement avec GMSH. Cette composante représente en fait la composante axiale tout le long de la tuyauterie (à cause de l'orientation choisie dans AFFE_CARA_ELEM) :

```
IMPR_RESU(MODELE=MODMECA,
          FORMAT='GMSH',
          UNITE=37,
          RESU=(_F(RESULTAT=RESU1,
                   NOM_CHAM='SIGM_ELNO',
                   NOM_CMP=('SIXX','SIYY',),
                  ),
               ),
         )
```

# 4 Comparaison des résultats obtenus

Les résultats obtenus par cette modélisation peuvent être comparés à ceux obtenus par d'autres modélisation du même problème :

Pour le **chargement de force constante** $FY$ appliquée sur la section $B$, on compare le déplacement au point $B$ pour les différentes modélisations.

Le tableau suivant donne, pour différentes modélisations, des valeurs indicatives obtenues pour des raffinements moyens des maillages :

| | Chargement force constante $FY$ | | |
|---|---|---|---|
| Modélisation | $DX$ | $DY$ | $DRZ$ |
| poutre flexibilité = 1 | –2.657E–02 | 6.702E–02 | 2.097E–02 |
| poutre flexibilité RCCM | –2.983E–02 | 1.156E–01 | 3.530E–02 |
| tuyau | –2.935E–02 | 1.083E–01 | 3.326E–02 |
| Coque (déplacement moyen) | –2.891E–02 | 1.053E–01 | 3.242E–02 |
| 3D (déplacement moyen) | –2.907E–02 | 1.065E–01 | – |

Le graphe suivant présente la déformée et les isovaleurs de contraintes axiales visualisées à l'aide de GMSH.

